

Analisis Risiko Kebocoran Gas pada Sistem Perpipaan *Recycle Gas Hydrofinishing Plant* dengan Menggunakan Metode *Quantitative Risk Analysis* (QRA) (Studi Kasus : Perusahaan Produksi Pelumas)

Afra Anindyta^{1*}, Ir. Eko Julianto², Agung Nugroho³

Program Studi Teknik Keselamatan dan Kesehatan Kerja, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik
Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111^{1*}

Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111²

Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111³

E-mail: afra.anindyta@gmail.com^{1*}

Abstrak

Sistem perpipaan merupakan bagian yang rentang akan kebocoran, oleh karena itu, penelitian ini menganalisis risiko kebocoran gas pada sistem perpipaan *recycle gas HDF plant*. Tujuan penelitian yaitu mereview HAZOP untuk mengetahui bahaya apa saja dalam proses *HDF plant*, menentukan skenario kebocoran gas, mengetahui tingkatan risiko kebocoran gas, tingkatan risiko *average individual risk* (IRav) *exposed population* dan *total population* serta memberikan rekomendasi berupa mitigasi kebocoran gas. Metode yang digunakan yaitu *quantitative risk analysis* untuk mengetahui tingkatan risiko berdasarkan skenario kebocoran gas. Penilaian risiko kebocoran gas menggunakan *event tree analysis* untuk mengetahui nilai *probability of consequences initiating event* hasil *review HAZOP*, kemudian mengalikannya dengan frekuensi kejadian berdasarkan *oil gas procedures*, selanjutnya menghitung nilai risiko IRav berdasarkan nilai risiko dari masing-masing skenario dan menilai apakah risiko termasuk kategori diterima, ditoleransi atau tidak dapat diterima, selanjutnya menentukan tindakan mitigasi kebocoran gas. Hasil dari penelitian ini yaitu berdasarkan hasil *review HAZOP* kebocoran gas merupakan salah satu potensi bahaya yang memiliki risiko tinggi, skenario yang dibuat menggunakan *realistic case* dengan besar lubang kebocoran 97mm, 25mm dan 5mm pada sambungan pipa dengan flange. Tingkatan risiko tertinggi akibat kebocoran gas pada konsekuensi *toxic gas dispersion* skenario lubang 5mm tergolong kategori ditoleransi. Tingkatan risiko IRav terdampak tergolong kategori ditoleransi, sedangkan risiko untuk IRav *total population* tergolong kategori diterima dan rekomendasi untuk mitigasi pelepasan gas yaitu dengan meningkatkan *engineering design, management*, deteksi gas, peringatan dini serta adanya pelatihan tanggap darurat.

Keywords: *Event tree analysis, Hazard and operability, Individual risk, Quantitative risk analysis*

PENDAHULUAN

Sistem perpipaan merupakan bagian dari semua fasilitas fisik tempat transportasi aliran gas termasuk pipa, sambungan, *valve*, *flange*, *regulator*, *pressure vessel*, *relief valve*, *unit compressor* dan alat-alat lain yang terpasang pada pipa (ASME3.18, 2014). Sedangkan *recycle gas* merupakan gas proses yang memiliki potensi bahaya serta beresiko tinggi jika terlepas ke lingkungan karena memiliki sifat *flammable*, *corrosive* dan *toxic*. Dari beberapa macam campuran gas dalam *recycle gas* terdapat gas H₂ yang memiliki konsentrasi paling tinggi dan gas paling berbahaya yaitu gas H₂S. Gas H₂ berbahaya karena sifat gas yang mudah terbakar dalam konsentrasi rendah yaitu 4-77% volume di udara, gas tidak berbau dan tidak berwarna sehingga sulit untuk dideteksi oleh manusia saat terjadi kebocoran (PRAXAIR, 2015). Selain itu, terdapat gas H₂S yang sangat berbahaya meskipun dalam

konsentrasi rendah, karena gas bersifat mudah terbakar dengan konsentrasi 4,3-46 % *volume* di udara, gas tidak berwarna, dan berbau seperti telur busuk saat konsentrasi rendah serta tidak berbau saat konsentrasi tinggi, dan manusia dapat meninggal seketika saat terpapar gas H₂S dengan konsentrasi >2000 ppm (OGP, 2010).

Recycle gas dapat beresiko tinggi jika terjadi penyimpangan dalam proses, khususnya penyimpangan pada sistem perpipaan yang selain menjadi tempat transportasi utama penyaluran gas juga merupakan lokasi yang paling sering mengalami kebocoran (Anshori, 2016). Pelepasan gas tersebut dapat menjadikannya banyak konsekuensi seperti kebakaran hingga ledakan karena terlepasnya gas ke atmosfer dalam *range* (UFL-LFL) dan terkena sumber penyalan secara langsung maupun secara berangsur-angsur setelah *release*. Berikut kecelakaan akibat pelepasan gas hidrogen sulfida dan gas hidrogen pada industri kimia, yaitu seperti yang terjadi pada perusahaan *oil and gas* di Alberta, Canada tahun 1997 terjadi pelepasan gas H₂S yang mengakibatkan terpaparnya 175 pekerja, dan terdapat diantaranya 14 pekerja yang meninggal (Dannielsson, Fendler, Hailwood, & Shrivess, 2009). Terjadi *vapour cloud explosion* yang berasal dari pelepasan H₂ di Polietilena *Plant* di Pasadena, Texas pada tahun 1989 yang mengakibatkan 22 orang meninggal dan 100 terluka (Dadashzadeh, Ahmad, & Khan, 2016). Kejadian tersebut tidak menutup kemungkinan dapat terjadi pada Perusahaan Produksi Pelumas jika terjadi pelepasan gas yang tidak disertai dengan penanganan yang tepat dan cepat. Oleh karena itu, penelitian ini menganalisis risiko kebocoran gas pada sistem perpipaan *recycle gas hydrofinishing* (HDF) *plant*. Tujuan penelitian ini yaitu mereview HAZOP untuk mengetahui bahaya apa saja dalam proses *HDF plant*, menentukan skenario kebocoran gas, mengetahui tingkatan risiko kebocoran gas, tingkatan risiko *average individual risk* (IRav) *exposed population* dan *total population* dan memberikan rekomendasi berupa mitigasi terhadap kebocoran gas.

METODOLOGI

2.1 Metode Identifikasi Bahaya

Metode identifikasi bahaya adalah suatu metode yang digunakan untuk menganalisis potensi bahaya. Identifikasi bahaya termasuk langkah yang paling penting ketika akan melakukan penilaian atau analisis risiko dari suatu objek. Pada penelitian ini penulis menggunakan metode Hazard and Operability (HAZOP) untuk mengetahui bahaya-bahaya yang ada pada sistem perpipaan *recycle gas* HDF *plant* dan metode Event Tree Analysis (ETA) untuk menganalisis konsekuensi dari pelepasan gas.

2.2 Quantitative Risk Analysis (QRA)

Quantitative risk analysis merupakan metode untuk mengembangkan dan memahami estimasi risiko dengan mengkombinasikan nilai estimasi frekuensi dengan konsekuensi potensi kecelakaan. Selain itu, QRA juga dapat digunakan untuk menginvestigasi pada sebuah proses industri kimia, seperti analisa risiko kerugian secara ekonomi atau analisa risiko dampak pada lingkungan (Arendt & Lorenzo, 2000). Dalam pengaplikasian metode QRA terdapat enam tahapan, diantaranya yaitu: identifikasi bahaya, analisa konsekuensi kejadian, analisa frekuensi kejadian, menentukan dampak kejadian, menghitung risiko, mengevaluasi serta memprioritaskan risiko yang harus dikurangi (CCPS, 2000).

2.3 Kebocoran

Kebocoran yaitu pelepasan suatu zat dari tempat penyimpanan karena adanya lubang atau retakan. Terdapat beberapa pemodelan sumber kebocoran yang sering digunakan serta dikembangkan secara rinci menurut CCPS (2000), Fase cair, pemodelan sumber yang dikembangkan pada aliran melalui lubang pada tangki penyimpanan atau pipa, dan aliran lubang pada tangki atau pipa yang berisi cairan bertekanan serta memiliki *normal boiling point*, Fase gas, pemodelan sumber yang dikembangkan pada aliran lubang pada pipa atau tangki yang berisi gas bertekanan, aliran pada *relieve valve*, aliran evaporasi yang terjadi pada kolam cairan dan aliran dari *relieve valve* yang berasal dari puncak tangki penyimpanan yang bertekanan, Fase cair dan gas, pemodelan untuk sumber dasar biasanya dikembangkan pada aliran lubang pada tangki atau pipa yang berisi cairan bertekanan serta memiliki *normal boiling point*, aliran pada *relieve valve* yang berdampak pada *runway reaction*.

2.4 Kandungan *Recycle Gas*

Recycle gas merupakan gas hasil proses pemurnian produk pada reaktor R-102 yang telah diproses untuk menghasilkan gas H₂ dengan konsentrasi sebesar-besarnya. Fungsi *recycle gas* tersebut yaitu untuk digunakan kembali dalam proses *hydrofinishing high pressure*. Dari beberapa kandungan *recycle gas* yang di alirkan disetiap harinya gas H₂ dan H₂S memiliki persentase konsentrasi tertinggi diantara gas-gas yang lain serta gas tersebut memiliki risiko tertinggi jika gas terlepas ke lingkungan. Dimana gas H₂ merupakan golongan gas yang mudah terbakar dengan konsentrasi 4 – 77 vol % di udara (PRAXAIR, 2014). sedangkan gas H₂S termasuk dalam golongan gas yang mudah terbakar serta sangat beracun jika terhirup (Matheson, 2001).

2.5 Pemodelan Konsekuensi

Adapun konsekuensi yang didapatkan akibat adanya pelepasan gas yang mudah terbakar dan beracun yaitu dapat menghasilkan *jet fire*, *pool fire*, *vapour cloud explosion*, *vapour cloud fire* dan *toxic cloud* (CCPS, 2000).

a. *Jet fire*

Jet fire merupakan kejadian kebakaran yang terjadi karena adanya suatu gas bertekanan yang terlepas ke lingkungan dari sebuah celah kecil pada tangki penyimpanan atau perpipaan yang berbentuk seperti semburan karena adanya penyalaan (CCPS, 2000). Berikut rumus untuk mengetahui panjang idah api jet fire.

$$\frac{L}{dj} = \frac{5.3}{C_r} \sqrt{\frac{T_f}{T_j} \left[C_r + (1 - C_r) \frac{Ma}{M_f} \right]}$$

Dimana L adalah panjang turbulen api (m), dj adalah diameter pancaran api (m), T_f merupakan Temperatur *hydrogen* (K) dan T_j adalah temperatur udara ambient (K), α_T merupakan perbandingan mol reaktan dengan mol produk, CT merupakan perbandingan mol fuel dengan jumlah mol reaktan, Ma adalah berat molekul udara (kg/kg.mol) dan Mf adalah Berat molekul *hydrogen* (kg/kg.mol)

b. *Flash fire* atau *Vapor Cloud Explosion* (VCE)

Flash fire merupakan pembakaran tanpa disertai ledakan dari uap yang dihasilkan saat pelepasan material yang mudah terbakar di udara terbuka. Bahaya utama dari *flash fire* yaitu berasal dari radiasi termal (*radiation thermal*) dan kontak langsung dengan api. Untuk mengetahui konsekuensi dari *flash fire* dapat dilihat pada pemodelan *fire ball* dalam menentukan radiasi termal (CCPS, 2000).

c. *Boiling liquid expanding vapor explosion* (BLEVE) atau *Fire Ball*

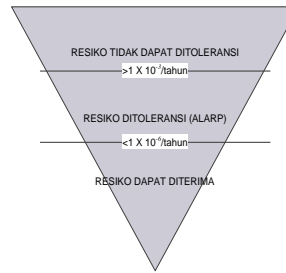
Gas bertekanan dalam suatu wadah yang tiba-tiba bocor karena pecahnya wadah tersebut merupakan salah satu contoh kejadian yang menyebabkan terjadinya *fireball*.

d. *Toxic gas dispersion*

Konsekuensi dari persebaran gas beracun, terdapat dua pendekatan umum menurut CPPS (2000) yaitu menggunakan konsentrasi spesifik bahan beracun atau standar dosis bahan beracun. Selanjutnya analisis probit, mengkombinasikan nilai konsentrasi berdasarkan jarak dengan waktu paparan untuk mengetahui besarnya kemungkinan kematian bagi populasi manusia didalam atau diluar pabrik.

2.6 Penilaian Risiko

Resiko menurut Muhlbauer yaitu suatu probabilitas peristiwa yang dapat menyebabkan sebuah kerugian atau kegagalan. Risiko dapat dihitung dengan mengalikan frekuensi dengan konsekuensi (Bariyyah, 2012). Berikut Gambar 1. kriteria tingkatan resiko menurut NOPSEMA, 2005.



Gambar 1. Kriteria Tingkatan Resiko (NOPSEMA, 2005)

2.7 Risiko Individu

Individual risk menurut Considine (1984) dalam buku CCPS (2000) yaitu merupakan resiko yang diterima oleh individu akibat adanya potensi bahaya yang disekitarnya.

2.8 Frekuensi Data Kegagalan OGP

Generic database yang digunakan dalam penelitian ini merujuk pada OGP, dimana OGP merupakan organisasi produsen penghasil minyak dan gas internasional yang beranggotakan lebih dari setengah produsen minyak dunia dan sekitar sepertiga produsen gas.

Tabel 1. Data Frekuensi Kegagalan Sambungan Pipa dengan Flange

Range Diameter Lubang (mm)	Diameter Pipa					
	2" (50 mm)	6" (150 mm)	12" (300 mm)	18" (450 mm)	24" (600 mm)	36" (900 mm)
1-3	$4,4 \times 10^{-5}$	$6,5 \times 10^{-5}$	$9,6 \times 10^{-5}$	$1,2 \times 10^{-4}$	$1,5 \times 10^{-4}$	$2,1 \times 10^{-4}$
3-10	$1,8 \times 10^{-5}$	$2,6 \times 10^{-5}$	$3,9 \times 10^{-5}$	$5,1 \times 10^{-5}$	$6,2 \times 10^{-5}$	$8,5 \times 10^{-5}$
10-50	$1,5 \times 10^{-5}$	$1,1 \times 10^{-5}$	$1,6 \times 10^{-5}$	$2,1 \times 10^{-5}$	$2,5 \times 10^{-5}$	$3,4 \times 10^{-5}$
50-150	-	$8,5 \times 10^{-6}$	$3,2 \times 10^{-6}$	$4,1 \times 10^{-6}$	$5,1 \times 10^{-6}$	$6,9 \times 10^{-6}$

Sumber : OGP, 2010

2.9 Tindakan Mitigasi

Tindakan mitigasi merupakan tindakan yang digunakan untuk mengurangi tingkatan resiko yang diakibatkan karena adanya suatu kejadian.

HASIL ADAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil review HAZOP

Berdasarkan hasil review HAZOP yang dilakukan pada Perusahaan Produksi Pelumas dimana studi node HAZOP pada sistem perpipaan recycle gas HDF Plant, dapat diketahui bahwa pelepasan *recycle gas* memiliki potensi bahaya yang berisiko tertinggi, dimana konsekuensi yang memiliki tingkatan resiko yang tidak dapat ditoleransi. Sehingga, pelepasan gas tersebut digunakan sebagai *initiating event* yang digunakan untuk menganalisis kemungkinan kejadian apa saja yang mungkin terjadi setelah adanya pelepasan gas tersebut.

3.2 Penentuan Skenario

Penelitian ini membahas lebih lanjut mengenai pelepasan *recycle gas hydrofinishing plant* yang memiliki resiko tinggi berdasarkan hasil evaluasi HAZOP yang telah dilakukan. Skenario yang digunakan pada penelitian ini yaitu *realistic case*, dimana besar kemungkinan kebocoran terjadi pada sambungan hasil pengelasan pipa

dengan *flange* pipa 4"-100-P-1708-6120-PP-30, penentuan ini berdasarkan pada kejadian yang pernah terjadi pada pipa Perusahaan Produksi Pelumas yang memiliki kemungkinan terbesar untuk terjadi pelepasan.

3.3 Penentuan Frekuensi Kebocoran

Pada penelitian ini penentuan besarnya frekuensi kemungkinan kebocoran yaitu pada sambungan antara pipa dengan *flange* sesuai dengan skenario yang telah dibuat, dengan menggunakan data kegagalan berdasarkan *oil and gas procedures* (OGP).

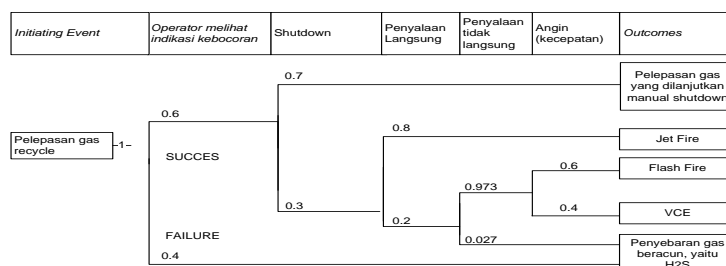
Tabel 2. Hasil Penentuan Frekuensi Kebocoran

Skenario	Diameter Lubang	Golongan	DIA (inch)	Frekuensi OGP
Sambungan pipa dengan Flange	97 mm	Flange	4	8.5×10^{-6}
	25 mm		0.985	1.5×10^{-5}
	5 mm		0.197	2.6×10^{-5}

Sumber : Hasil Analisis, 2017

3.4 Penentuan konsekuensi Kebocoran

Penentuan konsekuensi adanya *initiating event* berupa pelepasan gas dengan menggunakan metode ETA (*Event Tree Analysis*). Dimana ETA merupakan metode yang dapat digunakan dalam mengidentifikasi serta mengevaluasi alur konsekuensi dari sistem yang mungkin terjadi setelah adanya *initiating event*. Berikut adalah gambar hasil analisa ETA.



Gambar 2. Hasil Analisa ETA

Jadi nilai *probability* (kemungkinan) dari konsekuensi akibat pelepasan gas H₂ dan H₂S pada sistem perpipaan *recycle gas* HDF Plant yaitu untuk gas terlepas yang dilanjutkan dengan *shutdown* 0,42, *toxic gas dispersion* 0,4, *jet fire* 0,14, *flash fire* 0,021, dan *vapor cloud explosion* (VCE) 0,014.

3.5 Analisis Risiko

Risiko merupakan hasil dari perkalian antara frekuensi dan konsekuensi. Berdasarkan hasil perhitungan risiko yang dilakukan pada masing-masing skenario, dapat diketahui tingkatan risiko tertinggi yaitu pada risiko toxic gas dispersion dengan skenario besar lubang kebocoran 5mm. Sedangkan konsekuensi tergolong dalam kategori risiko yang diterima yaitu konsekuensi *flash fire* dan VCE, dan risiko yang tergolong dalam risiko ditoleransi adalah konsekuensi *jet fire* dan *toxic gas dispersion*.

3.6 Analisis Risiko Individu

Risiko individu adalah risiko yang diterima oleh masing-masing individu karena suatu kejadian berupa pelepasan gas yang menjadikannya beberapa *incident outcomes* seperti *jet fire*, *flash fire*, *vapor cloud explosion* dan persebaran gas beracun. Dalam penentuan zona *effect probability of fatality* yaitu sesuai pada langkah 4.5

dimana area yang terkena dampak memiliki *probability of fatality* = 1 sedangkan untuk area luar terdampak *probability of fatality* = 0 (CCPS, 2000).

Tabel 3. Kategori Risiko IR Average Exposed Population dan Total Population

Skenario Lubang	IR Average	Kategori Risiko
IR Average Exposed Population		
97mm	$2,67 \times 10^{-6}$	Risiko ditoleransi
25mm	$1,105 \times 10^{-6}$	Risiko ditoleransi
5mm	$6,68 \times 10^{-7}$	Risiko diterima
Skenario Lubang	IR Average	Kategori Risiko
IR Average Total Population		
97mm	$3,76 \times 10^{-7}$	Risiko diterima
25mm	$4,25 \times 10^{-8}$	Risiko diterima
5mm	$2,57 \times 10^{-8}$	Risiko diterima

3.7 Tindakan Mitigasi

Tindakan mitigasi yang dapat dilakukan diantaranya yaitu dengan membuat jadwal pengecekan dan perawatan secara periodic pada seluruh komponen sistem perpipaan *recycle gas*, melakukan pengetesan terlebih dahulu terhadap komponen baru yang dipasang pada peralatan proses khususnya untuk hasil pengelasan dilakukan dengan *non destructive test* (NDT) pada hasil pengelasan oleh *maintenance department*, melakukan pelatihan pencegahan dan pengendalian kebocoran gas pada *shift refinery*, melakukan penggantian komponen yang dinilai sudah tua akibat umur pemakaian operasi agar proses operasi berjalan dengan aman, memasang detektor gas pada sistem perpipaan *recycle gas* yang terintegrasi dengan *control room* Perusahaan Produksi Pelumas agar mudah dalam mendeteksi jika terjadi pelepasan gas, memberikan personal detektor pada setiap pekerja atau tamu yang memasuki wilayah *plant*, melakukan pengawasan dan kontrol setiap saat oleh *refinery shift* baik di *plant* maupun di *control room*, mengadakan pelatihan tanggap darurat secara berkala khususnya untuk kasus kebocoran *recycle gas*.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil *review HAZOP* yang dilakukan pada *hydrofinishing plant high pressure*, potensi bahaya yang memiliki risiko tertinggi yaitu berupa pelepasan gas yang dapat menjadikannya kebakaran, ledakan serta persebaran gas beracun, skenario yang digunakan yaitu *realistic case*, dimana pelepasan gas terjadi pada sambungan hasil pengelasan antara pipa dengan flange dengan skenario diameter lubang kebocoran sebesar 97mm, 25mm dan 5mm, tingkatan risiko tertinggi akibat pelepasan gas berdasarkan skenario yang dibuat yaitu berupa *toxic dense dispersion* dengan lubang 5mm besar risiko $1,04 \times 10^{-5}$ pertahun yang termasuk dalam kategori risiko ditoleransi, sedangkan untuk risiko terendah yaitu pada *vapor cloud explosion* dengan lubang 97mm besar risiko $1,19 \times 10^{-7}$ pertahun yang termasuk dalam kategori diterima, tingkatan risiko *individual risk* terdampak termasuk dalam kategori ALARP atau ditoleransi untuk skenario lubang 25mm dan 97mm dan kategori diterima untuk skenario lubang 5mm, sedangkan tingkatan risiko berdasarkan keseluruhan populasi (*total population*) baik terdampak maupun tak terdampak akibat pelepasan gas berdasarkan masing-masing skenario diameter lubang termasuk dalam kategori diterima, tindakan mitigasi yang dirkomendasikan yaitu berupa *engineering design*, *perbaikan management*, deteksi gas dan peringatan dini serta pelatihan tanggap darurat.

DAFTAR PUSTAKA

- Anshori, A. S., 2016. Analisa Resiko Kebakaran dan Ledakan Akibat Kebocoran Perpipaan Gas Hidrogen di HRU (*Hydrogen Recovery Unit*) Ammonia Plant dengan Metode QRA (*Quantitative Risk Analysis*). Surabaya: Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.

- ASME3.18., 2014. *Gas Transmission and Distribution Piping Systems*. New York, USA: American Society of Mechanical Engineers.
- Bariyyah, M., 2012. *Analisa Risiko Pipa Transmisi Gas Onshore di Sumatra*. Depok: Universitas Indonesia.
- CCPS., 2000. *Guideline for Chemical Process Quantitative Risk Analysis Second Edition*. New York: AIChE.
- Dadashzadeh, M., Ahmad, A., & Khan, F., 2016. *Dispersion modelling and analysis of hydrogen fuel gas released in an enclosed area: A CFD-based approach*. *Fuel*, 184, 192–201. Available at <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2016.07.008> [Accessed 4 April 2017]
- Danielsson, F., Fendler, R., Hailwood, M., & Shrivies, J., 2009. *Analysis of Hydrogen Sulfide – Incidents in Geothermal and Other Industries*. OECD WGCA.
- Matheson., 2001. *Lower and Upper Explosive Limits for Flammable Gases and Vapors (LEL / UEL)*, 22. Available at [http://www2.mathesongas.com/pdfs/products/Lower-\(LEL\)-&-Upper-\(UEL\)-Explosive-Limits-.pdf](http://www2.mathesongas.com/pdfs/products/Lower-(LEL)-&-Upper-(UEL)-Explosive-Limits-.pdf) [Accessed 10 April 2017]
- NOPSEMA. (2015). *Guidance Note ALARP* (Vol. 26). England: NOPSEMA.
- OGP. (2010). *Process Release Frequencies*. England: International Association of Oil and Gas Procedurs.
- OGP. (2010). *Vulnerability of Humans*. England: International Association of Oil and Gas Procedurs.
- PRAXAIR. (2014). *Hydrogen Sulfide Safety Data Sheet*. U.S Code of Federal Regulations.
- PRAXAIR. (2015). *Hydrogen Safety Data Sheet*. U.S. Code of Federal Regulations.